

INVESTIGATION OF ACCELERATION TUBE FIELD EMISSION BY OPTICAL FIBER

Yoshiharu Yano[#], Toshiyasu Higo, Shinichiro Michizono
High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801 Japan

Abstract

In the KEKB injector linac (LINAC), RF Power is supplied to four 2-m acceleration structures by one set of a klystron. We are observing field emission (FE) by screen monitor during rf operation. The acceleration structure with high FE has to be operated at rather low power. Therefore, if there is at least one acceleration structure with high FE, a klystron operation point (thus total energy gain at the rf unit) is limited by this one weak structure. Since there were few screen monitors, it is difficult to find out the high FE accelerator structures. Instead of these screen monitors, we installed the optical fiber, in order to detect FE of the acceleration structures. When high energy electron beam hits the acceleration structure, Cherenkov radiation will be observed inside an optical fiber. By detecting this light by Photo-multiplier (PMT), we can found the high FE acceleration structure. The inside of an acceleration structure with high FE was investigated.

光ファイバーによる加速管フィールドエミッションの調査

1. はじめに

電子陽電子入射器(LINAC)の運転において加速管で発生するフィールドエミッション(FE)は加速管に投入する RF パワーに制限を与えており、安定な運転の妨げになっている。しかし、その観測はビームモニター用に設置されたスクリーンモニター(SC)によって行なうのみである。また、我々の加速ユニットは加速管 4 本に 1 台のクライストロン(KLY)からパワーを供給しているためそれらの中から FE の多い加速管を特定することは事実上不可能である。しかし加速管に密着して設置した大口径の光ファイバーで FE により発生する荷電粒子を観測すればそれらの特定が可能になる。ここではその方法で特定した FE の多い加速管とその内部の様子を紹介する。

2. フィールドエミッション(電界放出)

電界放出とは金属表面に強電界をかけると、ポテンシャル障壁が薄くなり、トンネル効果で電子が真

空中に放出される現象である。加速管の内部では高周波の高電界が掛かっているため FE によって放出された電子は加速電界に乗り加速されてしまうものも出てくる。これらの電子は条件によってはマルチパクタリングによって加速管表面に損傷を引き起こす事になる。現在 LINAC ではスクリーンモニター(SC)で FE の様子を観測し関連する KLY のパワーを下げて運転している。1 本でも FE 多い加速管があると関連する 4 本の加速管のパワーを下げざるを得ない。また、SC の設置箇所も少ないため FE の多い加速管の特定は困難である。

3. FE の観測

3.1 光ファイバービームロスモニター^[1]

フォトマル (PMT ; H10721 浜松フォトニクス製) 2 個または 4 個を NIM モジュールに組込んだものと大口径の純粋石英光ファイバーを組合せて光ファイバービームロスモニターとして運用中である。

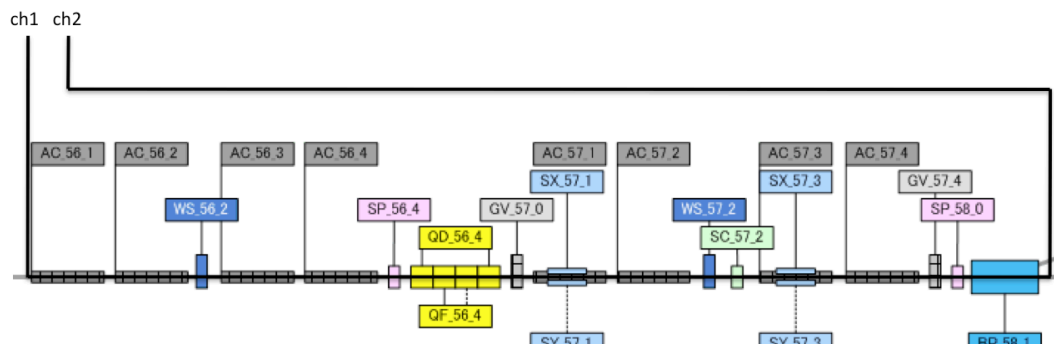


図 1 : 5 セクターの光ファイバー布設図

[#] yoshiharu.yano@kek.jp

図1に5セクターのAC_56, AC_57, BP_58_1に敷設した光ファイバー布設図を、図2にAC_56付近の写真を示す。加速管、真空ダクトには出来るだけ密着しマグネットも内部を通過するよう布設した。



図2：光ファイバー導入部の写真

この光ファイバーはビームモニターとして設置したものであるが Beam-OFF、RF-ON の状態で図3に示す様な信号が観測される。

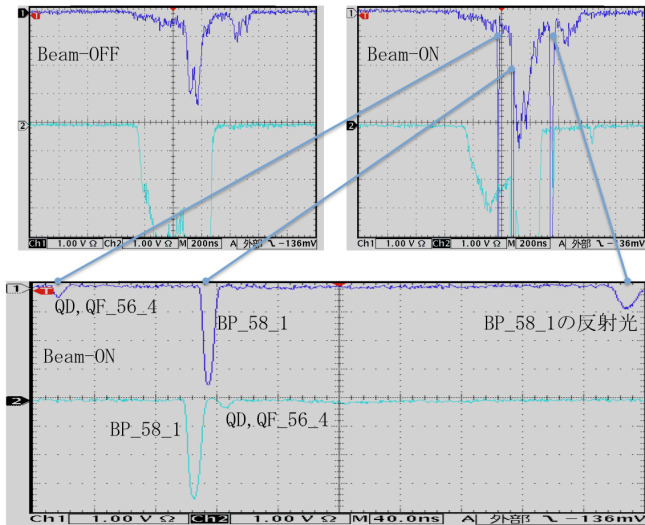


図3：光ファイバー導入部の写真

この波形はPF運転モード時でAC_56,57はビーム加速に寄与しないスタンバイ状態であるのでAC_56,57からのFEは見えていない。全クライストロンについて1台ごとOFF/ONを行なった結果AC_32に起因することが分かった。3枚目の波形はPMTのゲインを下げてビームによる信号が確認出来るようにしている。1.2枚目は200nsec/div、3枚目は40nsec/divである。加速管に入っているRFは約1μsecなのでパルス真ん中付近と後にFEの山が出ている。

3.2 AC_32 フィールドエミッションの観測

AC_32の加速管のFEが5セクターに敷設した光ファイバーで観測出来たがより詳しく調査するため図4に示すようにGU_3T, AC_32, AC_33に光ファイバーを敷設し、クライストロンへの一次側印加電圧(Es)、ステアリングマグネットとQマグネットの電流を変えて3セクター(3S)と5セクター(5S)に布設した光ファイバーの信号の変化を調査した。以下にまとめと典型的な波形を図5と6に示す。

- 1) SX_32_1, SY_32_1では3S, 5Sともに変化無し。
- 2) SX_32_3で
3Sは-2A, 0.5A付近で変化あり。
5Sは-2A~0.5AでFEを観測。
- 3) SY_32_3で
3Sは-2A, 0.5A付近で変化あり。
5Sは±2Aの間でFEを観測。
- 4) 3SはSX_33_1, SY_33_1, SX_33_3, SY_33_3で変化無し。
- 5) SX_33_1で
5Sは-3.5A~1Aの間でFEを観測。
- 6) SY_33_1で
5Sは±2Aの間でFEを観測。
- 7) SX_33_3で
5Sは-2A~5Aの間でFEを観測。
- 8) SY_33_3で
5Sは-2A~3Aの間でFEを観測。
- 9) QD, QF_31_4では3S, 5Sともに変化無し。
- 10) QD, QF_32_2で3Sは変化無し。
5Sは5A以上でFEが観測出来なくなる。
- 11) QD, QF_32_4で
3Sは0A~2Aで波形に変化あり。
5Sは2A以上でFEが観測出来なくなる。

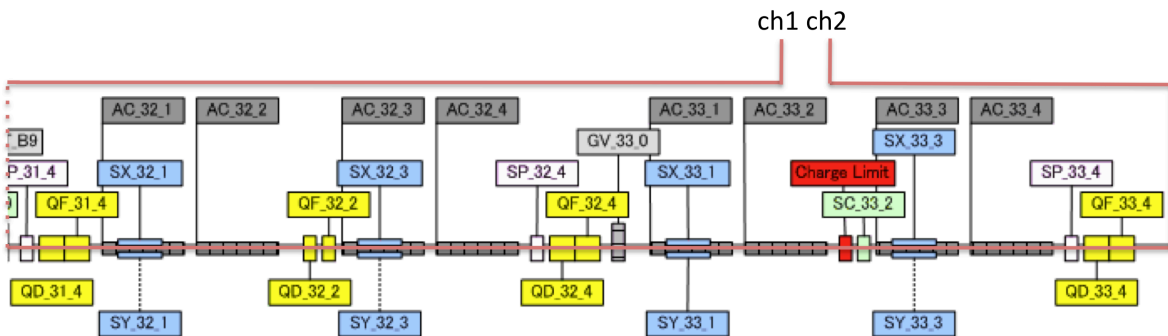


図4：3セクターの光ファイバー布設図

- 12) QD, QF_33_4 で 3S は変化無し。
 5S は 3A 以上で FE が観測出来なくなる。
 13) SC_32_2 の IN/OUT で 3S は変化無し。
 5S は IN で FE が減少。

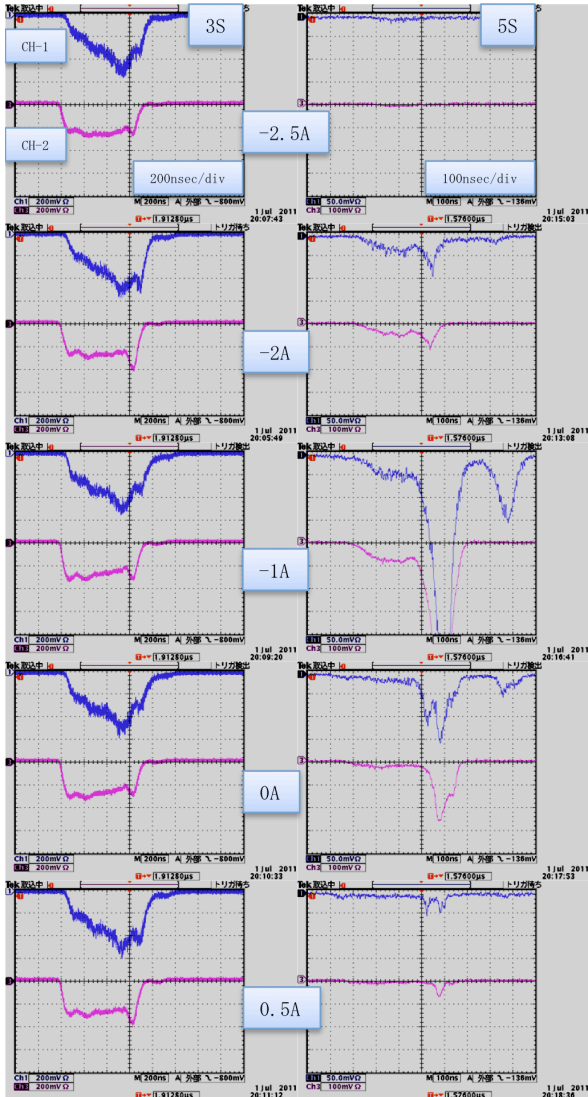


図 5 : SX_32_3 の電流値と FE の変化

図 5 では SX_32_3 が -2A の時に 3S の後のピークが少し大きくなっている。5S には SX_32_3 が -2A の時に FE が見られ始め -1A の時に最大になる。SX_32_3 の運転値は 0A である。QD, QF_31_4 を変えても S3, S5 とともに FE の変化はなし。SX, SY_32_1 を変えても S3, S5 とともに FE の変化はなし。QD, QF_32_2 の電流値を変えても S3 の波形に変化は無く 5A になると 5S で FE が観測されなくなる。これらから AC_32_2 の FE で出来た電子が AC_32_3 の FE を誘発し SX_32_3 が -1A の時に AC_32_3 のどこかでマルチパクタリングの条件が揃うためピークが観測されると考えられる。

図 6 では QD, QF_32_4 の電流値が 0A の時、3S では FE が最も少ないが、5S では最も多く、電流値が増えるごとに見えなくなっている。これから AC_32 の FE で出来た電子が AC_33 の FE を誘発している。

しかもパルスの後の増加が顕著である。しかし、この FE は他の条件が整っていないため 5S まで届いていないと考えられる。

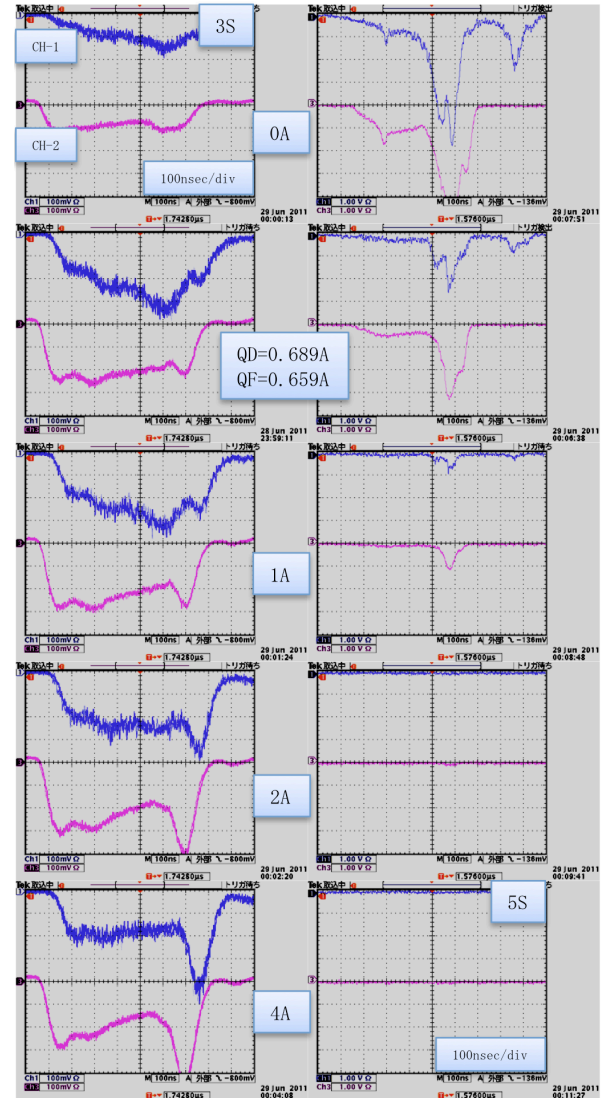


図 6 : QD, QF_32_4 の電流値と FE の変化

以上のことからここで観測される FE は主に AC_32_2 で発生していると思われる。

4. 加速管内部の写真

4.1 入力カプラー付近の様子

これらの観測後に 3T-GUN 付近の改造があった。第 1 加速管(AC_32_1)と第 2 加速管(AC_32_2)を一時的に撤去しこれらの加速管の内部を観察する機会があった。時間に余裕が無く専用の治具を作れなかったため通常のマクロレンズでの接写しか出来なかった。

図 7 に AC_32_1 の第 1 ディスク(D1)付近の写真を図 8 に AC_32_2 の第 1 ディスク(D1)付近の写真を示す。

AC_32_1, AC_32_2 共に D1 のディスク面に損傷が見られる。D1 は入力カプラー部であるとともに

加速管の先頭であるため広がったビームに曝されておりディスク面の損傷が起きやすい。

第2ディスク(D2)以降についてはAC_32_1では損傷が認められないがAC_32_2ではD2、D3まで明らかに損傷が見られる。アイリスについてはAC_32_1であまり損傷が見られないのに対しAC_32_2では明らかに損傷が激しく、D2、D3まで損傷が広がっているのが認められる。写真から見ると左側、つまり加速管の下側の損傷が激しい。

何らかの原因でAC_32_2のD1、D2付近でマルチパクティングが起り始めそのままRFパワーを投入し続ける事で損傷が進行しD3以降にも損傷が広がって行ったものと思われる。

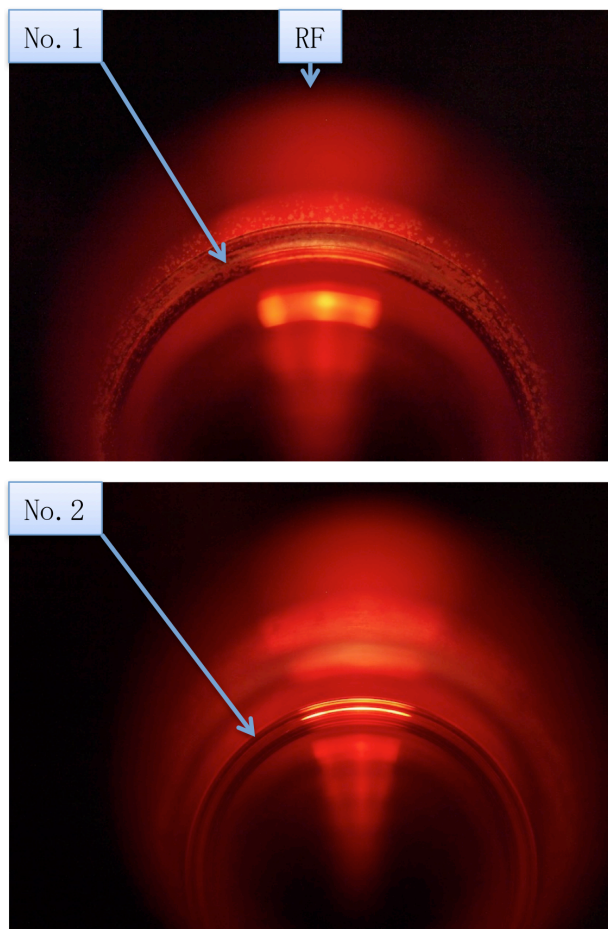


図7：AC_32_1の第1ディスク付近の写真

4.2 出力カプラー付近の様子

図9にAC_32_1とAC_32_2の出力カプラーからの写真を示す。AC_32_1、AC_32_2共に最終ディスク(DE)のディスク面にわずかではあるが損傷が見られる。損傷の度合いはAC_32_1の方がAC_32_2より大きく図の右側、つまり加速管の下側の損傷が激しい。これはAC_32_2の入力部付近で起きたFEの電子がAC_32_1の出力カプラー付近まで到達していると考えられる。このことはSCによるFEの調査でも裏付けられている。観察しているSCの下流の加速管のRFパワーを変えるとSCの輝

度が変わる、加速管の上流のマグネットの磁場を変えるとSCの輝度が変わるなどの現象が見られる。これも下流側の加速管のFEの電子が上流側のSCに到達している証拠である。

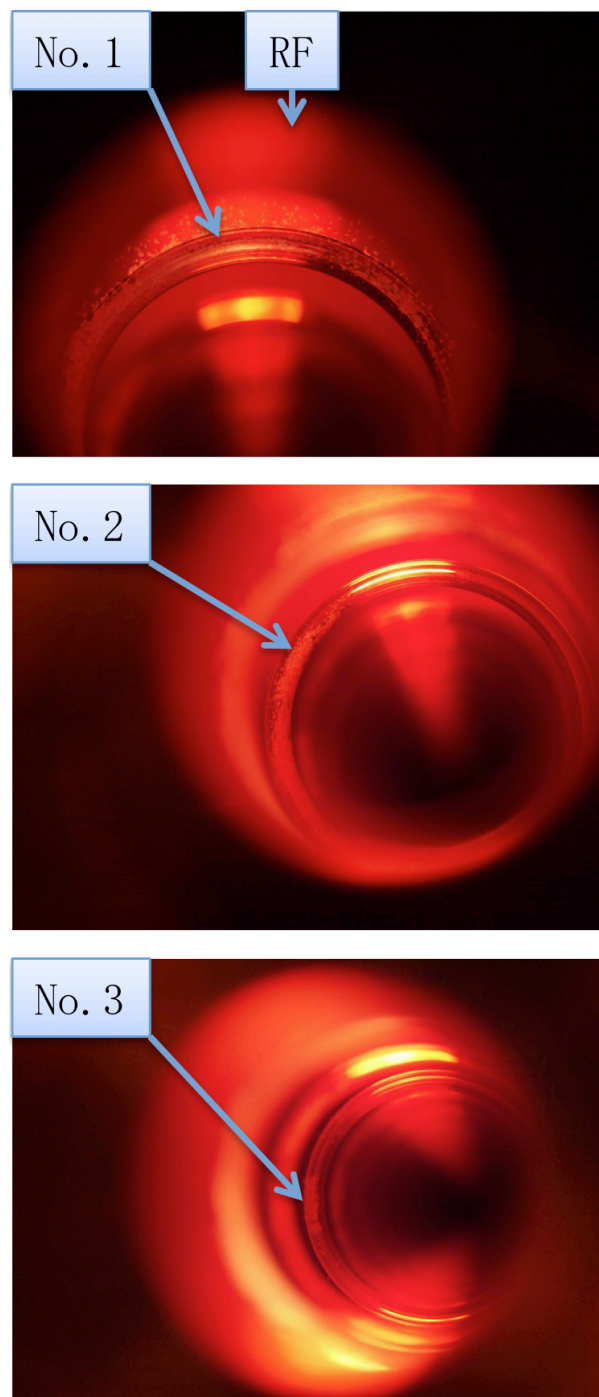


図8：AC_32_2の第1ディスク付近の写真

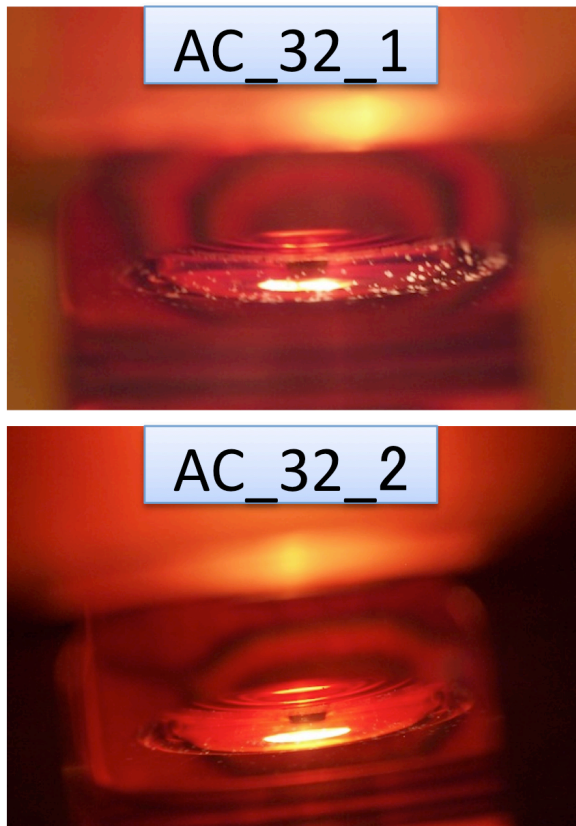


図 9 : AC_32_1、2 の最終ディスク付近の写真

4.3 損傷の激しい加速管の様子

図 10 に損傷の激しい AC_34_4 の入力カップラー付近のディスク面の写真を示す。D1 はアイリス、ディスク面共に銅の光沢は無く銀色で表面がざらついて見える。D2、D3 についてもアイリス付近は同様に銀色に変色し光沢が全く無くなっているのが分かる。さらに D4、D5 についても程度の違いはあるが同様に損傷が進んでいることが分かる。

入射器では通常クライストロンの E_s は 40kV で運転しているが AC_43 は加速管の放電で E_s を下げて運転せざるを得ず撤去の直前では E_s の運転値は 32kV であった。

5. まとめ

3T-GUN 付近の改造前に AC_32 の加速管群の中で FE の多い加速管を特定し改造に合わせてそれらの内部の写真を撮る事が出来た。これまでの測定で 1 本の加速管で発生した FE でも充分観測出来る事が分かったのでこれからは加速管 1 本につき 1 本の光ファイバーを敷設して調査を行う予定である。ただ、FE によって放出された電子は加速管全周に飛び出して来るので間違った判断をしないように注意しなければならない。より良い判定をするためには光ファイバーの敷設経路を考慮する、加速管までの経路にシールドを施す等の対策が必要である。今後、入射器の他の加速管の調査も進め問題のある加速管

の洗い出しを行ないたい。

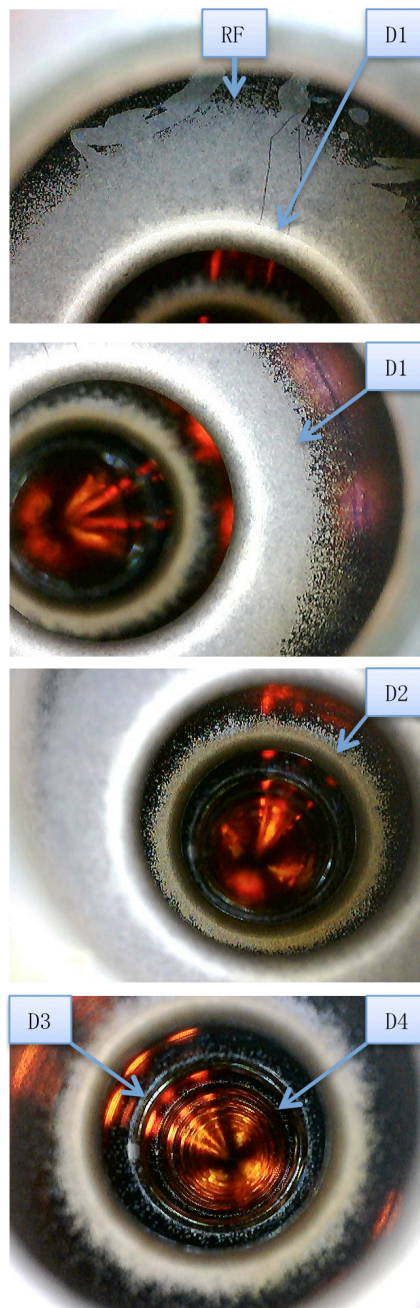


図 10 : 損傷の激しい加速管の写真

参考文献

- [1] Y. Yano, et al., “光ファイバービームロスモニターの開発” Proceedings 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, August 1-3, 2011